

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 08-017719

(43)Date of publication of application : 19.01.1996

(51)Int.Cl.

H01L 21/027
G02B 5/18

(21)Application number : 06-170377

(71)Applicant : NIKON CORP

(22)Date of filing : 30.06.1994

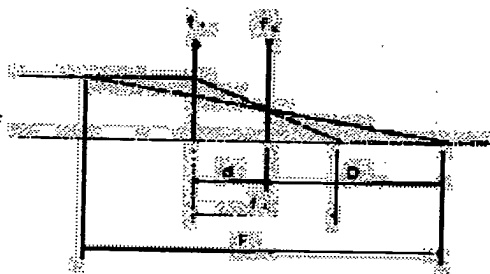
(72)Inventor : USHIDA KAZUO
HASHIMOTO SUMIO

(54) PROJECTION ALIGNER

(57)Abstract:

PURPOSE: To obtain a projection aligner which corrects the movement a focus due to a change in usage surroundings such as a temperature change, an atmospheric pressure change or the like by a method wherein the movement direction of a focal position due to a change in usage surroundings is set in a direction opposite to the movement direction of the focal position due to a change in the usage surroundings of an optical member.

CONSTITUTION: The focal distance of a diffraction optical element provided with positive power is designated as f_2 . In addition, the focal distance of a diffraction optical element provided with negative power is designated as $-f_2$. Then, a correction optical member which is composed of a combination of them is used. When the coefficient of thermal expansion of a substrate for the diffraction optical element with the focal distance of f_1 is designated as α_1 , and its temperature rise is designated as t_1 , the diffraction optical element is expanded proportionally over the whole surface by $(1+\alpha_1.t_1)$ times. At the same time, a substrate for the diffraction optical element with the focal distance of f_1 is expanded proportionally by $(1+\alpha_2.t_2)$. At this time, since both of the focal distances of the respective diffraction optical elements are expanded proportionally, an image is formed in one point in their focal positions after a temperature has risen.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2000 Japanese Patent Office

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平8-17719

(43)公開日 平成8年(1996)1月19日

(51)Int.Cl.⁸

識別記号

庁内整理番号

F I

技術表示箇所

H 0 1 L 21/027

G 0 2 B 5/18

H 0 1 L 21/ 30

5 1 5 D

審査請求 未請求 請求項の数4 F D (全 12 頁)

(21)出願番号 特願平6-170377

(22)出願日 平成6年(1994)6月30日

(71)出願人 000004112

株式会社ニコン

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号

(72)発明者 牛田 一雄

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

(72)発明者 橋本 純夫

東京都千代田区丸の内3丁目2番3号 株式会社ニコン内

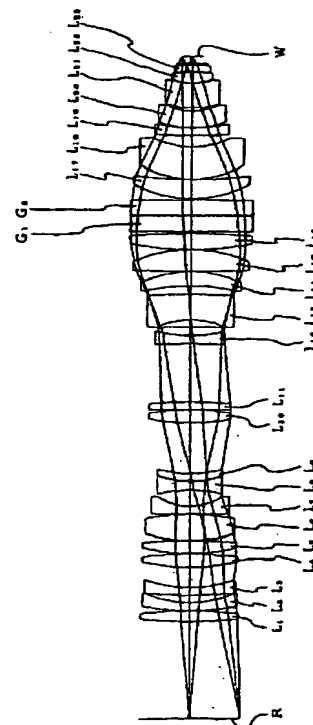
(74)代理人 弁理士 佐藤 正年 (外1名)

(54)【発明の名称】 投影露光装置

(57)【要約】

【目的】 焦点補正による球面収差等の新たな収差の発生を最小限に抑えながら、温度変動や大気圧変動等の使用環境変化による焦点の移動を補正することが可能な投影露光装置を提供すること。

【構成】 投影光学系を介してマスクパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置であって、屈折型または反射型の光学部材と、回折型の補正光学部材とを有する投影光学系を備え、前記補正光学部材は、前記光学部材の使用環境変化に伴う焦点位置の移動方向とは逆向きの使用環境変化に伴う焦点位置の移動方向を持つことを特徴とするもの。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源手段からの光束をマスクに照射することにより、投影光学系を介して前記マスクのパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置において、前記投影光学系は、屈折型または反射型の光学部材と、回折型の補正光学部材とを有し、前記補正光学部材は、前記光学部材の使用環境変化に伴う焦点位置の移動方向とは逆向きの使用環境変化に伴う焦点位置の移動方向を持つことを特徴とする投影露光装置。

【請求項 2】 前記補正光学部材は、複数の回折光学素子からなることを特徴とする請求項 1 に記載した投影露光装置。

【請求項 3】 前記補正光学部材は、光束を集束させる性質を有する回折光学素子と、光束を発散させる性質を有する回折光学素子とをそれぞれ少なくとも一つ含むことを特徴とする請求項 1 に記載した投影露光装置。

【請求項 4】 前記補正光学部材は、互いに異なる熱膨張率を持つ部材で構成された二つの回折光学素子を含むことを特徴とする請求項 1、2 又は 3 に記載した投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】 本発明は、例えば、LSI 等の半導体素子の製造に使用される微細なパターンを基板上に露光転写する投影露光装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 従来から、IC あるいは LSI 等の半導体素子や、これに類する液晶素子あるいは薄膜磁気ヘッド等の微細パターンを有する部材等の製造工程においては、所定のパターンの転写露光を伴ういわゆるリソグラフィ工程が応用されている。この工程においては、所定の回路パターン等を有するマスクから投影光学系を介した露光光をシリコンウエハ等の感光基板上に投影することによって、マスク上のパターンをウエハへ転写する。

【0003】 いわゆる半導体集積回路では、従来の IC や LSI から近年の VLSI や ULSI 等への移行にみられるように、更なる高集積化が進んでおり、それに伴って投影するパターンもますます微細化しているので、投影光学系や露光装置自体に要求される解像力（分解能）も更に高度になってきている。

【0004】 投影露光装置の解像度を上げるには、光学系の開口数（NA）を大きくしなければならないが、開口数を大きくする程、光学系の焦点深度は浅くなるので、転写露光（ウエハ上での投影像の状態）に対する焦点移動の影響が極めて大きくなる。このため、僅かの温度変動や大気圧変動でも焦点位置が被投影面（ウエハ面）から移動することによって、被投影面上が焦点深度外になり、要求される解像度で焼きつける（転写露光する）ことができなくなる。

【0005】 このような問題を解決するために、従来から投影露光装置における焦点位置補正手段が提案されている。例えば、投影レンズ（露光装置）内の一部のレンズの間隔を変化させたり、投影レンズ系の内部をいくつかのブロックに分けて密封し各々の気圧を制御すること等により、温度や大気圧の変動に対する焦点補正を行っている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】 しかしながら、焦点を補正するために一部のレンズの移動させることは、光学設計条件からレンズ系の位置を変化させることとなるので、投影像に対して球面収差等の新たな収差を発生させる場合があり、結果として解像度を劣化させる原因となる難点がある。

【0007】 また、レンズ系内部を密封させて気圧を変化させる手段を講じる場合にも、この気圧変化がレンズ自体に悪影響を及ぼすことがある。例えば、レンズ面に接する部分の気圧を変化させると、気圧の変動によりレンズ表面の形状が変化する場合があります、レンズ変形によりやはり球面収差等の新たな収差を発生させるという問題があった。

【0008】 ところで、特開平 4-214516 号には、投影光学系（投影レンズ系）の設計上における収差補正用部材としてフレネルレンズを応用したものが開示されている。この従来例では、従来から良く知られた構造のフレネルレンズ（同心円状の溝により構成された球面又は非球面のレンズ面を持つもの）を使用しており、投影光学系を構成するレンズの硝材としては石英のみが選択されている。

【0009】 しかし、この従来例においては、設計上の収差に対する補正手段は開示されているが、使用時における環境変化に対応する補正手段は開示されておらず、この従来例においても、環境変化に伴う焦点位置（結像位置）の変化は、実務上許容できない程度にまで大きい問題がある。

【0010】 本発明は、このような従来の問題点に鑑みてなされたものであり、温度や大気圧等の使用環境が変化した場合に、これに伴う投影露光装置の焦点移動を修正する補正手段を備えた投影露光装置を提供することを目的とするものである。特に、焦点補正による球面収差等の新たな収差の発生を最小限に抑えながら、温度変動や大気圧変動等の使用環境変化による焦点の移動を補正することが可能な投影露光装置を提供することを目的とするものである。

【0011】

【課題を解決するための手段】 上記目的達成のため、本願請求項 1 記載の発明では、光源手段からの光束をマスクに照射することにより、投影光学系を介して前記マスクのパターンを感光基板上へ露光する投影露光装置において、前記投影光学系が屈折型又は反射型の光学部材

と、回折型の補正光学部材とを有しており、前記補正光学部材が、前記光学部材の使用環境変化に伴う焦点位置の移動方向とは逆向きの使用環境変化に伴う焦点位置の移動方向を持つことを特徴とする投影露光装置を提供する。

【0012】請求項2に記載した発明は、請求項1に記載した投影露光装置において、前記補正光学部材が、複数の回折光学素子からなることを特徴とするものである。

【0013】請求項3に記載した発明は、請求項2に記載した投影露光装置において、前記補正光学部材が、光束を集束させる性質を有する回折光学素子と、光束を発散させる性質を有する回折光学素子とをそれぞれ少なくとも一つ含むことを特徴とするものである。

【0014】請求項4に記載した発明は、請求項1、2又は3に記載した投影露光装置において、前記補正光学部材が、互いに異なる熱膨張率を持つ部材で構成された二つの回折光学素子を含むことを特徴とするものである。

【0015】

【作用】本発明は上記のように構成されているため、以下の作用を奏する。まず、本発明では投影露光装置における投影光学系が屈折型又は反射型の光学部材と、屈折型の補正光学部材とを有しており、各々の使用環境変化に伴う焦点の移動方向が互いに逆向きに变化するものを用いているので、互いに焦点移動量を打ち消し合って結像位置の変化を修正している。

【0016】ここで、屈折型の光学部材とは、屈折作用により光路の偏向を行わせる光学部材であり、いわゆる一般の透過屈折レンズやプリズム等がこれに該当するが、平行平板等の屈折性がある部材と考えられる。また、反射部材は反射作用により光路の偏向を行わせる光学部材であり、いわゆる反射鏡、反射膜等がこれに該当するが、反斜面の形状は特に限定されるものではなく、平面のみならず曲面等も含まれる。

【0017】一方、回折光学部材は、回折作用により光路の偏向を行わせる光学部材であり透過型のものと反射型のものとがある。この回折光学部材を構成するのは、いわゆる回折光学素子であり、屈折レンズでは不可能な短波長の光束の光路を任意に偏向させることも可能である。更に、いわゆる屈折レンズとは異なる波長一偏向特性（屈折レンズとは逆分散を持つ）を示すことから、屈折レンズとの組合せによる新たな収差補正手段等が注目されている。

【0018】回折光学素子としては、例えばフレネルゾーンプレート等が良く知られているが、一般的なフレネルゾーンプレートは光透過性の基板上に同心円状の遮光部材を設けた構造のものであり、透過領域からの光束の回折作用を利用して所定位置に光束を集光させるものが一般的である。

【0019】ゾーンプレートを含む回折光学素子の構造は、上記のような透過部と遮光部によるもののみではなく、透過特性（屈折率、透過距離等）が異なる領域を段階的に設けたものや、基板内部に屈折率分布による透過特性の異なる部分を設けたもの等が知られている。前者の代表的なものは、いわゆるバイナリーオプティクス（BOE）であり後者の代表的なものは、いわゆるホログラムオプティクス（HOE）である。

【0020】BOEは、リソグラフィの工程を利用して光透過性部材に階段状の表面形状を形成し（反射部材の表面に形成しても良い）、透過距離を部分的に異ならしめることにより回折作用を生じさせるものである。BOEは、その製造方法から微細な任意のパターンを高精度でかつ自由に構築できる利点があり、その応用分野が特に注目されている。（写真工業、1994年、3月号94頁）

【0021】これらのBOE等の高度な回折光学素子によれば、生じさせる回折光も従来よく知られた一点への集束作用を有するもののみならず、任意の光波面を所望の光波面に変換すること、光発散機能を有すること、光集束機能と光束分離機能等を複合させること等の自由な回折作用を生じさせることが可能である。

【0022】さらに、BOEは薄くて軽量であり、量産が容易であること、製造が容易で高い回折作用が得られること、光利用率が高いこと、深紫外領域の光束でも光路の偏向が可能であること等から、投影光学系の光学部材としての応用が研究されている。

【0023】本発明は、このような回折光学素子を使用環境変化に伴う焦点位置変動の補正用に応用することを提案するものであり、一般の投影光学系の使用環境変化に伴う焦点位置変動は予め予測できるので、その焦点位置変動を打ち消すように、使用環境変化に伴う投影光学系の焦点位置変動とは逆向きの焦点位置変動を生じさせる回折光学素子を投影光学系に組み入れるものである。

【0024】このような回折光学部材は、少なくとも温度や気圧等の環境変化に伴う焦点位置変動の方向が互いに逆向きになるものであれば、投影光学系全体の焦点位置変動量が大幅に抑えられるものとなる。この合計の移動量は、投影光学系全体の焦点深度内に納められていれば、投影光学系のもつ解像度をそのまま維持して、投影像の転写露光が行える。

【0025】さらに、望ましくはこれらの合成の変動量がゼロとなるように設計されたものであれば、使用環境変化に伴う焦点位置の変動が生じないものとなるので、焦点深度が浅い光学系を用いても結像位置が変動せず、常に被露光対象となる感光基板上に正確に投影像が結像される。

【0026】また、このような回折光学部材（素子）は、使用環境変化に対する焦点位置補正専用のものを用いても、上記従来技術のように収差補正などを同時に行

わせるものでも良い。例えば、使用環境変化により新たな収差等の問題が生ずる投影光学系にあっては、この新たに発生する収差の補正を合わせて行う回折光学部材を補正光学部材として設ければ良い。

【0027】請求項2に記載した発明では、前記補正光学部材が、複数の回折光学素子からなることを特徴とするものであるが、複数の素子の各々の使用環境変化に伴う焦点位置変動その他の結像特性変動を合成させて投影光学系全体としての使用環境変化に伴う結像特性変動を修正する補正を行わせることも可能である。

【0028】これは、例えば焦点補正による新たな収差の発生などを防止するために特に有効である。即ち、前述したように焦点位置補正は、投影光学系とは逆向きの焦点位置移動により結像位置を移動させるものであるもので、これに伴う収差の発生などが予め計測できる。したがって、これに基づいてこのような収差などを補正する回折光学素子などを組み合わせて良好な補正手段が構築できることとなる。

【0029】請求項3に記載した発明では、前記補正光学部材が、光束を集束させる性質を有する回折光学素子と、光束を発散させる性質を有する回折光学素子とをそれぞれ少なくとも一つ含むことを特徴とするものである。

【0030】ここで、光束を集束させる性質を持つものとは、いわゆるフレネルゾーンプレートのように、素子を出た回折光が集束する方向に光路が偏向される性質を持つものであり、屈折レンズに置き換えて考えると、いわゆる正のパワーを持つレンズと同様に考えられる。逆に、光束を発散させる性質を持つものとは、屈折レンズにおける凹レンズのような光路の偏向作用を奏するものであり、素子を出た回折光が発散する方向に進行するように光路が偏向されるものを言う。

【0031】以下では、これらの性質を屈折レンズと同様に正又は負のパワーという。また、一点に集束させる性質の回折光学素子の集光位置までの距離、逆に一点から発散するような性質の回折光学素子におけるこの発散基準位置までの距離をここでは焦点距離という。

【0032】本発明では、例えば、平行光束を光軸上の一点に結像させるような正のパワーを持つ回折光学素子（輪帯状の位相グレーティング又はフレネルゾーンプレート等）を投影光学系の絞り付近に配置し、その近くに平行光束を光軸上の一点から発散させるような負のパワーを持つ回折光学素子（輪帯状の位相グレーティング等）を配置する構成が考えられる。

【0033】この時、正のパワーの回折光学素子の焦点距離を f_1 （ $f_1 > 0$ ）とし、負のパワーの回折光学素子の焦点距離を $-f_2$ （ $f_2 > 0$ ）とすると、両者の合成焦点距離が正、即ち全体として正のパワーのグレーティング（回折光学部材）としての機能を持たせたいときには、各々の焦点距離を $f_1 < f_2$ とすれば良く、これ

らの回折光学部材による焦点補正に伴う球面収差等の諸収差の発生を全く抑えたい特には、 $f_1 = f_2$ とすれば良い。

【0034】これらの設計条件は、投影光学系の全体の結像特性を左右するものであるため、例えば、投影光学系の設計時に回折光学部材の偏向作用を結像特性に使用する場合には前者のような全体として正のパワーのもの、又は $f_1 > f_2$ として負のパワーを持つものと得して光学設計を行えば良い。また、後者のように各々の焦点距離が $f_1 = f_2$ とすれば、結像特性に影響を与えずに焦点距離の補正のみが行える。

【0035】請求項4に記載した発明では、前記補正光学部材が、互いに異なる熱膨張率を持つ部材で構成された二つの回折光学素子を含むものであることから、各々の回折光学素子の温度変化に伴う素子の変形状態が互いに異なることとなる。

【0036】これは、補正光学部材の温度変化に伴う焦点移動量を調整するためであり、同じ部材を用いれば、各々温度変化により等倍の変化となるので、回折光学素子のパターンの変形に応じた焦点移動量のみとなる。しかし、各々の変形量が異なることで新たな回折偏向状態となるので、焦点移動量の大幅な修正や逆に微細な修正等に対応できるものとなる。

【0037】例えば、補正光学部材の温度を調節することによって焦点位置（又は、結像位置）を補正しようとする場合は、回折光学素子の基板のガラス材等の一方が石英で、もう一方が螢石というように、熱膨張率が異なったガラス材の素子の組み合わせであることが望ましい。

【0038】特に、温度上昇によって投影光学系のみ（回折光学部材以外）の焦点位置が本来の位置（光学系本体）より離れる様な傾向がある場合、それを外部温度調節機構なしに補正しようとするときには、正のパワーを持つ回折光学素子の基板を熱膨張率の低いガラス材（例えば石英）、負のパワーを持つ回折光学素子の基板を熱膨張率の高いガラス材（例えば螢石）にすれば良い。

【0039】逆に、温度上昇によって焦点位置が投影光学系に近づく傾向にある場合は、正のパワーを持つ回折光学素子の基板を熱膨張率の高いガラス材にし、負のパワーを持つ回折光学素子の基板を熱膨張率の低いガラス材にすれば良い。

【0040】ここで、このような回折光学素子による焦点位置移動の作用を具体的に説明する。一例として、正のパワーを持つ回折光学素子の焦点距離を f_1 、負のパワーを持つ回折光学素子の焦点距離を $-f_2$ （ $0 < f_1 \leq f_2$ ）とした場合の組み合わせからなる補正光学部材を用いる。図6に示す様に、両回折光学素子の間隔を d とすると、この補正光学部材による光学系において、正のパワーの回折光学素子に平行光束が入射した場合の集

光点位置までの距離を合成焦点距離 F とし、この集光点位置と負のパワーの回折光学素子との距離を D とすると、これらは夫々次の式(1)および式(2)で表され

$$D = (f_1 - d) \cdot f_2 / (f_2 - f_1 + d) \quad \dots (1) \text{式}$$

$$F = f_1 \cdot f_2 / (f_2 - f_1 + d) \quad \dots (2) \text{式}$$

【0042】焦点距離 f_1 の回折光学素子の基板の熱膨張率を α_1 、温度上昇を t_1 とすると、回折光学素子は全面において $(1 + \alpha_1 \cdot t_1)$ 倍だけ比例拡大(夫々の回折パターンが拡張)される。同様に、焦点距離 $-f_2$ の回折光学素子の基板の熱膨張率を α_2 、温度上昇を t_2 とすると、回折光学素子は全面において $(1 + \alpha_2 \cdot t_2)$ 倍だけ比例拡大される。

【0043】このとき、夫々の回折光学素子の焦点距離は、夫々 $f_1 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t_1)$ 、 $-f_2 \cdot (1 + \alpha_2 \cdot t_2)$ となるが、共に比例拡大されるので、温度が (t_1, t_2) 上昇した後でもその焦点位置で一点に結像する。従って、投影光学系内のレンズの一部の間隔を移動したり、気圧を制御することにより球面収差等の新たな収差を発生させるというような不都合を生じること

$$\Delta D = D' - D$$

【0047】正のパワーの回折光学素子の基板の熱膨張率 α_1 が、負のパワーの回折光学素子の熱膨張率 α_2 よりも著しく小さい場合、即ち $\alpha_1 < \alpha_2$ の場合、後述の実施例のような数値計算例から明らかな様に、 $\Delta D < 0$ となる。

【0048】もし、両回折光学素子を組み込まない投影レンズが、 t だけ温度上昇したときに、 $-\Delta D > 0$ だけレンズから離れる方向に焦点移動するならば、この正と負のパワーを持つ回折光学素子群を内装することによって、焦点移動を完全に補正することができ、しかも焦点を補正することによって球面収差などの新たな収差が発生することはない。

【0049】上記の様に、投影レンズの温度が t だけ上昇したときの焦点移動が $-\Delta D$ の場合、その焦点移動を完全に打ち消すような f_1 、 f_2 の値を求めるためには、以下の様にすれば良い。即ち、合成焦点距離 F をある特定の値に設定して、(2)式より f_1 、 f_2 の適当な組み合わせを求め、これを(1)式における温度上昇ゼロの D と、温度上昇 t の D' の場合を(3)式に代入することにより、温度変化による変動量が f_1 の関数と

る。

【0041】

はない。

【0044】温度上昇後(夫々 t_1, t_2)の、前記距離 D 及び合成焦点距離 F は、式(1)及び式(2)において、 f_1 のところに $f_1 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t_1)$ を代入すれば求められる。

【0045】もし、個別の回折光学素子に対する温度調節機構なしに焦点位置を補正しようとする場合、即ち、光学系全体が温度 t だけ上昇した場合、 $t_1 = t_2 = t$ となる。また、正と負の回折光学素子の焦点距離は、 $f_1 \cdot (1 + \alpha_1 \cdot t)$ 、および $-f_2 \cdot (1 + \alpha_2 \cdot t)$ となる。さらに、温度が t だけ上昇したあとの距離 D を D' とすると、両回折光学素子による焦点位置の変動は次の式(3)で表される。

【0046】

$$\dots (3) \text{式}$$

して求められるが、その時の変動量が ΔD の時の f_1 が求める焦点距離になる。

【0050】ここで、両回折光学素子の合成焦点距離を $F = 500 \text{ mm}$ 、正のパワーの回折光学素子の基板を石英、負のパワーの回折光学素子の基板を蛍石とすると、それぞれの熱膨張率は $\alpha_1 = 0.55 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ 、 $\alpha_2 = 0.24 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ となり、 $\alpha_1 < \alpha_2$ である。前述した様に、この組み合わせの場合には、温度上昇によって投影光学系の焦点位置(結像位置)が光学系から離れる傾向にある場合に、その焦点位置移動を補正することができる。

【0051】いま、正の回折光学素子の f_1 を設定した場合、 $F = 500 \text{ mm}$ ならば、 f_2 は式(2)から容易に求められる。回折光学素子の間隔 $d = 10 \text{ mm}$ 、 $F = 500 \text{ mm}$ のときの ΔD の値を、種々の回折光学素子(f_1 が異なるもの)に対して算出した結果を以下の表1に示す。

【0052】

【表1】

表1

f_1 (mm)	f_2 (mm)	ΔD (μm)
300	725	-7.275
200	316.667	-16.412
150	200	-25.215
100	112.5	-41.820

【0053】上記の表1を見て明らかな様に、合成焦点距離Fは同じでも、個々の正のパワーと負のパワーの値が強ければ強いほど、 ΔD が大きくなり、焦点補正能力が強くなることがわかる。

【0054】従って、これを利用して投影光学系の焦点位置移動状態等に合わせて、適時適正な補正光学部材としての回折光学素子を選択すれば、温度変化等の使用環境変化に対応した焦点位置の修正を行なうことができる。

【0055】また、温度以外に大気圧変化等の使用環境の変化に対しても、同様に焦点位置の移動量が決定できるので、それに応じて回折光学素子を設計し、補正光学部材を構築すれば良い。更に、温度や大気圧変化に伴い、屈折率も変化するので、この屈折率変化による焦点位置の変動も考慮する必要がある。

【0056】このような補正光学部材は、温度に対応するものと大気圧に対応するもの、あるいはこれらに伴う屈折率変化に伴うものを別々に構築しても、それらの変化状態を定性的に捕らえて同じ部材により補正するものとしても良い。いずれの場合で合っても、個別に設計さ

れた投影光学系の構成により、個別に変化状態を算出するか、あるいは実験的に検出してそれらを補正する様に構築すれば良い。

【0057】さらに、補正光学部材独自の温度調整機構を設けることで、焦点位置補正量を独自に調整できるので、光学系全体の温度変化や大気圧変化による焦点位置変動とは別に、適正な温度状態で補正光学部材の補正量（逆向きの移動量）を調整することで、適正な焦点位置（結像位置）の修正が行なえる。

【0058】

【実施例】以下実施例を通じ本発明を更に詳しく説明する。図1に本発明の一実施例に係る投影露光装置の投影レンズ系の概略構成を示す。この実施例では、屈折レンズ $L_1 \sim L_{23}$ 並びに補正光学部材を構成する回折光学素子（グレーティング） G_1 及び G_2 等から投影光学系が構成されており、レチクルRに形成されたパターンの像がウエハW上に結像されて露光される。なお、この実施例のレンズ設計データを表2に示す。

【0059】

【表2】

レンズデータ

素子の界面	曲率半径 (mm)	間隔 (mm)	材質	屈折率
(0)	- .25000	119.99970		1.00000
(1)	702.71500	13.38843	SIO2	1.50838
(2)	-452.72121	.10000		1.00000
(3)	310.35737	10.00000	SIO2	1.50838
(4)	121.98580	9.17466		1.00000
(5)	466.83977	10.00000	SIO2	1.50838
(6)	153.83952	25.26970		1.00000
(7)	258.66475	16.32060	SIO2	1.50838
(8)	-384.27349	.10000		1.00000
(9)	210.77524	15.77922	SIO2	1.50838
(10)	-788.26912	.10000		1.00000
(11)	180.46155	31.67650	SIO2	1.50838
(12)	-279.78713	.10000		1.00000
(13)	-5005.38620	10.00000	SIO2	1.50838
(14)	63.95957	20.43789		1.00000
(15)	-142.60553	10.00000	SIO2	1.50838
(16)	92.11980	.84532		1.00000
(17)	96.26337	10.00000	SIO2	1.50838
(18)	151.65899	61.24344		1.00000
(19)	236.10914	16.39902	SIO2	1.50838
(20)	-292.56174	.10000		1.00000
(21)	3429.89000	9.99619	SIO2	1.50838
(22)	-471.14586	71.25896		1.00000
(23)	-1250.73640	10.00000	SIO2	1.50838
(24)	137.89825	10.87506		1.00000
(25)	.00000	9.21311		1.00000
(26)	-90.50355	32.80770	SIO2	1.50838
(27)	-1167.39410	10.51470		1.00000
(28)	-245.16351	17.56028	SIO2	1.50838
(29)	-142.77992	.10000		1.00000
(30)	1474.45560	27.23647	SIO2	1.50838
(31)	-163.72378	.10000		1.00000
(32)	337.67198	20.48181	SIO2	1.50838
(33)	-890.73882	1.90000		1.00000
(34)	.00000	.10000		1.00000
(35)	.00000	20.00000	CAF2	1.46783
(36)	.0	.00000	(F2P)	10001.0
(37)	-1350454.9	.00000		1.0
(38)	-1774622.9	.00000	(F2P)	10001.0
(39)	.00000	20.00000	SIO2	1.50838
(40)	.00000	1.10000		1.00000
(41)	133.83155	23.32030	SIO2	1.50838
(42)	494.30809	.10000		1.00000
(43)	109.11314	42.00002	SIO2	1.50838
(44)	92.74443	15.03848		1.00000
(45)	622.54747	10.00000	SIO2	1.50838
(46)	176.36707	.10000		1.00000
(47)	110.88121	21.87975	SIO2	1.50838
(48)	64.57716	3.95072		1.00000
(49)	101.01028	31.83777	SIO2	1.50838
(50)	67.54003	.10000		1.00000
(51)	51.39628	14.31898	SIO2	1.50838
(52)	-200.48137	1.30832		1.00000
(53)	-132.18925	8.00000	SIO2	1.50838
(54)	-312.63018	2.00000		1.00000
(55)	.00000	9.99956		1.00000

F Z P : 回折光学素子

S I O 2 : 石英

C A F 2 : 螢石

【0060】表2において、夫々の数値は左側から順に、レチクル側からのレンズ等の素子の界面（括弧内の数字）、曲率半径、間隔、材質、屈折率を夫々表しており、F Z Pは回折光学素子、S I O 2は石英、C A F 2は螢石を表す。

【0061】本実施例における回折光学素子G₁及びG₂は、基板表面に断面が階段状となるような回折パターンを備えたB O Eで構成されており、互いにパターン面が近接して向かい合う様に配置されている。夫々の回折パターンは、正のパワーの回折光学素子は輪帯状（同心円状）のフレネルゾーンパターンであり、負のパワーの回折光学素子はフレネルゾーンパターンの位置に外側に回折する様なパターンを設けたものである。

【0062】具体的には、図7（A）に示す様に、正のパワーの回折光学素子は、断面が階段状となる回折パターンを中心部ほど移相変化が大ききように配置して、こ

こを透過した光束が集光する様に構成している。逆に、同図（B）に示す様に負のパワーの回折光学素子は、周辺部ほど移相変化が大きき様に階段状パターンを配置して、光束を発散させる様にした回折光学素子である。

【0063】これらの回折光学素子は、本実施例に係る投影光学系中で光束径が最も大きくなる位置又はその近傍の位置に設けられている。この位置に回折光学素子を設けることにより、回折光学素子の屈折力を弱く（又は、焦点距離を長く、もしくは光路偏向割合が少なく）構成できる。このため、投影光学系の収差を圧下させることなく、熱等に伴うピントずれ等を良好に補正することができら。更に、屈折力の弱い回折光学素子は、製造が容易に行なえる利点がある。

【0064】次に、本実施例における投影光学系の焦点距離について説明する。図5に示す様に本実施例に係る投影光学系を回折光学素子の前後で分断し、レチクルR

から回折光学素子の直前までのレンズ（前段光学系）の合成焦点距離を F_a 、回折光学素子の合成焦点距離を F_b 、回折光学素子の直後からウエハWまでのレンズ（後段光学系）の合成焦点距離を F_c とする。夫々の数値は

$$1/a_o + 1/b_1 = 1/F_a \quad \dots (4) \text{ 式}$$

$$-1/(b_1 - d_1) + 1/b_2 = 1/F_b \quad \dots (5) \text{ 式}$$

$$-1/(b_2 - d_2) + 1/b_3 = 1/F_c \quad \dots (6) \text{ 式}$$

【0066】ここで、物点（レチクルR）から前段光学系の主点位置までの距離 a_o 、前段光学系の主点位置からその像点までの距離 b_1 、前段光学系の主点位置から回折光学素子までの距離 d_1 、回折光学素子からその像点までの距離 b_2 、回折光学素子から後段光学系の主点位置までの距離 d_2 、後段光学系の主点位置からその像点までの距離 b_3 とする。

【0067】これらの式において、夫々の光学系の焦点距離 F_a 、 F_b 、 F_c 及び前段光学系並びに後段光学系の主点位置は近軸光線追跡により求め、これに基づいて前記距離 d_1 、 d_2 が決定される。

【0068】例えば、後段光学系の主点位置は、次の様にして求められる。まず、後段レンズ系に対し、回折光学素子の直後から平行光束を入射させて、ウエハWまでの近軸光線追跡を行なうと、結像位置はウエハWの後方（89.15853mm）である。 F_c は219.5069mmであるので、後段レンズ系の主点位置は、ウエハWの前方130.5069mmとなる。また、レンズ間隔等を合計すれば、回折光学素子とウエハWとの距離は、205.0539mmとすぐに分かるので、 d_2 は205.0539-130.5069=74.547

$$1/F_b = 1/f_{11} + 1/f_{21} - d_3 / f_{11} \cdot f_{21} \quad \dots (7) \text{ 式}$$

【0073】ここから、合成焦点距離 F_b が定まると、第一の回折光学素子の焦点距離 f_{11} と第二の回折光学素子の焦点距離 f_{21} とが決定され、焦点距離 f_{11} が変わると焦点距離 f_{21} も一意的に変化する。

【0074】ここで、第一と第二の回折光学素子の基板

$$f_{1t} = f_{11} (1 + \alpha_{11} t) \quad \dots (8) \text{ 式}$$

$$f_{2t} = f_{21} (1 + \alpha_{21} t) \quad \dots (9) \text{ 式}$$

【0076】これを(7)式に f_{1t} 、 f_{2t} に変えて代入すると、温度が $t^\circ\text{C}$ 上昇した場合の二枚の回折光学素子の合成焦点距離 F_{bt} が求められる。この数値に基づいて、再度(1)～(3)式に夫々を代入して、温度が $t^\circ\text{C}$ 上昇した場合の焦点位置 b_{3t} が求まる。従って、回折光学素子の熱膨張による焦点移動量は、 $\Delta b_3 = b_{3t} - b_3$ で求めることができる。

【0077】ここで、本実施例における二枚の回折光学素子の焦点位置変化（ Δb_3 ）の状態を、図2～図4に示す。これらの図は、二枚の回折光学素子の合成焦点距離（ $F_b = 565\text{mm}$ ）を一定とした場合に、第一の回折光学素子 G_1 の焦点距離 f_{11} （横軸、単位mm）と焦点位置変化量 Δb_3 （縦軸、単位 μm ）の関係を示す線図である。

図に示す通りであり、単位はmmである。そして、投影光学系全体を三つの光学系の合成レンズ系と考えると、夫々の焦点距離等は、以下の式で表される。

【0065】

0 (mm) となる。

【0069】以上の方法で求めた F_a 、 F_b 、 F_c 、 a_o 、 d_1 、 d_2 の夫々の数値を(4)～(6)式に代入することにより、 $b_1 \sim b_3$ を求めることができる。そして、最後に求められる b_3 は119.53807mmで、前述したように、後段光学系の主点位置として求められたウエハWの前方130.5069mmとだいたいにおいて合致する。

【0070】両者が完全に一致しないのは、平行光束を入射する方向によって主点位置が異なることによる誤差のためと思われるが、後述する様に、 b_3 の値そのものよりも、 b_3 の温度等による変動（変化率）が問題となるので、ここで完全に一致しないこと自体は、それほど問題ではない。

【0071】次に、二枚の回折光学素子の合成焦点距離が F_b となるような、第一と第二の回折光学素子の焦点距離を f_{11} 、 f_{21} とすると、これらの関係は以下の(7)式で表される。なお、二枚の回折光学素子の間隔を d_3 とする。

【0072】

材料の熱膨張率を夫々 α_{11} 、 α_{21} とすると、温度が $t^\circ\text{C}$ 上昇した場合の夫々の回折光学素子の焦点距離 f_{1t} 、 f_{2t} は以下の様に表される。

【0075】

【0078】図2は、回折光学素子 G_1 の焦点距離 f_{11} を100mm～200mmまで変化させた状態を示している。また、大まかな焦点位置変化量 Δb_3 の変動状態を明示するために、図3及び図4は、同じく焦点距離 f_{11} を100mm～1000mmまで変化させた状態を示している。ただし、図3は本実施例の回折光学素子 G_1 が螢石、回折光学素子 G_2 が石英の基板で構築されたものを示しており、図4は他の実施例で回折光学素子 G_1 が石英、回折光学素子 G_2 が螢石の基板で構築されたものを示す。

【0079】ここで、本実施例における投影光学系の基本設計は、前述した従来例（特開平4-214516号）とほぼ同様であり、回折光学素子の構成等が異なっているものである。参考のために、この従来例における

温度変化に対する全体の焦点位置変化状態を以下の表 3 に示す。

【0080】

【表 3】

表 3

レンズの材質	熱膨張の影響	屈折率変化の影響	合計移動量
従来例のまま すべて石英	(1) $0.08 \mu\text{m}$	$-4.21 \mu\text{m}$	$-4.13 \mu\text{m}$
	(2) $0.11 \mu\text{m}$	$-4.21 \mu\text{m}$	$-4.10 \mu\text{m}$
従来例を螢石 に置き換え	(3) $3.67 \mu\text{m}$	$2.05 \mu\text{m}$	$5.72 \mu\text{m}$
	(4) $4.60 \mu\text{m}$	$2.05 \mu\text{m}$	$6.65 \mu\text{m}$

【0081】表 3 は、温度が 1°C 上昇した場合の投影光学系の焦点移動量を求めたものであり、焦点距離が伸びる場合（焦点位置が遠ざかる場合）を正としている。表中、熱膨張による影響の (1) (3) はフレネルレンズの基板の熱膨張を考慮しない場合、(2) (4) は回折光学素子の基板の熱膨張をレンズと同様の温度変化で考慮した場合を示している。

【0082】また、この従来例ではすべてレンズの材質が石英のものを使用しているが、参考のために、すべてのレンズの材質が螢石である場合の変動量を算出し、石英の場合と同様に記載している。ここから明らかな様に、レンズの材質（硝材）により温度変化に伴う焦点変化の方向が異なることが分かる。

【0083】この表から明らかな様に、投影光学系自体の焦点位置変動量は、回折光学素子の熱膨張を考慮しない場合と同様であり、上記 (1) に示す様に $-4.13 \mu\text{m}$

m である。従って、図 2 より二枚の回折光学素子による焦点変動量が約 $4.13 \mu\text{m}$ となる近辺で、第一の回折光学素子 G_1 の焦点距離 f_{11} を選択すると、 $f_{11} = 135 \text{ mm}$ が適当であり、それに伴い第二の回折光学素子 G_2 の焦点距離 f_{21} も $f_{21} = -177.38 \text{ mm}$ に定まり、このときの回折光学素子の焦点移動による全体の合成焦点移動量は、 $\Delta b_a = 4.15 \mu\text{m}$ となっている。

【0084】これらの数値に基づいて、二枚の回折光学素子 G_1 と G_2 の焦点距離を定め、これらを含めて投影光学系全体の焦点距離と温度による焦点位置の変動量を算出し直すと、温度が 1°C 上昇した場合の合計移動量は、回折光学素子の熱膨張による影響も含めて以下の表 4 の様になる。

【0085】

【表 4】

表 4

レンズの材質	熱膨張の影響	屈折率変化の影響	合計移動量
石英 従来例同様	(5) $3.81 \mu\text{m}$	$-4.14 \mu\text{m}$	$-0.33 \mu\text{m}$

【0086】この表 4 から明らかな様に、本実施例の投影光学系全体の焦点位置の移動量は、従来例の $1/10$ 以下（約 $1/12$ ）に減少していることが解る。なお、表 2 に示した本実施例の設計データは、この最終決定された夫々の回折光学素子の位置や焦点距離等を更に微調整したものである。

【0087】このように、本実施例では温度変化に基づく熱膨張と屈折率変化に基づく焦点位置の移動量を算出する際に、投影光学系内の回折光学部材の配設位置から、前後のブロック毎に分断して個別に演算して求めた後、これを当てはめて全体の焦点距離を再検査しているが、良好な補正状態が得られた。

【0088】本発明を実施する際には、上記の本実施例による算出方法に限定されるものではなく、結果として投影光学系全体の焦点位置移動量が、補正光学部材とその他の投影光学系とによる夫々の移動量で互いに打ち消し合う様に機能する状態を検出できるものであれば、い

かなる手段によるものを用いても良い。

【0089】また、本実施例では、従来例と同様な構成の投影レンズ系を用いたので、回折光学素子を除いた温度変化に対する焦点移動量が負側（投影レンズ系に近づく）に変位したため、これを補正するために上記のような構成の補正光学部材を用いたが、従来例の変形例に示す様に、この移動量や方向は個々の投影光学系により異なる。

【0090】本実施例の投影光学系と逆向きの変位に対する補正移動に関しては、例えば、図 4 に示したような構成の補正光学部材を用いれば、焦点位置の修正が可能である。このため、夫々の投影光学系を構築する際に焦点位置の移動量等を予め算出すると共に、それに応じて適正な補正光学部材を決定する必要がある。

【0091】また、図 3 から明らかな様に回折光学素子 G_1 の焦点距離 f_{11} が 565 mm の時の合成焦点位置の移動量 Δb_a が $1 \mu\text{m}$ であり、図 4 を見ると f_{11}' が 5

5.2 mm以下のとき合成焦点位置の移動量 $\Delta b_s'$ の変動特性は図3とは逆向きとなるが、回折光学素子 G_1 の焦点距離 f_{s1}' が5.65 mmの時の合成焦点位置の移動量 $\Delta b_s'$ は、 $0.02 \mu\text{m}$ となっている。

【0092】図3及び図4に示す実施例では、いずれも正のパワーの回折光学素子と負のパワーの回折光学素子とを組み合わせているが、投影光学系の焦点距離の補正量が $0.02 \mu\text{m} \sim 1 \mu\text{m}$ の場合には、この組み合わせでは不可能であることがわかる。このような場合には、正のパワー同士もしくは負のパワー同士の組み合わせ、あるいは三枚以上の回折光学素子の組み合わせ等により対処することが好ましい。

【0093】一方、以上に実施例では温度変化に対する熱膨張と屈折率変化に対応したものについて説明したが、大気圧変化に対する焦点位置の移動についても、同様に検知できるので、これに伴う補正移動量も本発明を応用することで、適正な修正が行なえるものとなる。

【0094】また、以上では投影光学系と一体に全体の雰囲気の中で同じ温度変化が生じた場合について説明したが、これは特に特別な機構を設けなくても、温度変化に対応して自動的に焦点位置が修正される様に構成したためである。

【0095】しかし、装置の環境変化に対応して上記実施例の様にほぼ正確に修正できるものが選択できる場合は良いが、例えば、自動的な修正が難しい場合（環境変化に対する移動量が逆向きの等しい量とならない場合）には、補正光学部材に温度調整機構等を設け、強制的に回折光学素子の焦点位置を変動させて、環境変化に対する焦点位置移動を修正する手段を設けることも可能である。

【0096】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明によれば、温度変動や大気圧変動等の装置の使用環境が変化して、投影光学系の投影レンズ等の焦点位置が移動しても、補正光学部材により焦点位置が修正され、感光基板上に適正な焦点深度範囲内で投影像が結像される。また、この修正動作に応じて球面収差などの新たな収差を発生させることなく焦点位置（結像位置）を補正することができる。

【0097】特に、温度変動により投影光学系の焦点位置が移動する場合においては、どんな局所的な温度調節

機構も用いることなしに、投影光学系の焦点位置を補正することができるので、補正機構が容易且つ簡便な機構で構築できる利点があり、投影光学装置全体の製造コストを下げる効果もある。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例に係る投影露光装置の投影光学系の概略構成を示す説明図である。

【図2】本発明の一実施例における焦点位置変化の状態を、回折光学素子の合成焦点距離（ $F = 5.65 \text{ mm}$ ）を一定とした場合に、回折光学素子 G_1 の焦点距離（横軸、単位mm）と焦点位置変化量（縦軸、単位 μm ）の関係を示す線図であり、回折光学素子 G_1 の焦点距離を $100 \text{ mm} \sim 200 \text{ mm}$ まで変化させた状態を示している。

【図3】本発明の一実施例における焦点位置変化の状態を、図2と同様に示す線図であり回折光学素子 G_1 の焦点距離を $100 \text{ mm} \sim 1000 \text{ mm}$ まで変化させた状態を示しているが、回折光学素子 G_1 が螢石、回折光学素子 G_2 が石英の基板で構築されたものを示す。

【図4】本発明の一実施例における焦点位置変化の状態を、図2と同様に示す線図であり回折光学素子 G_1 の焦点距離を $100 \text{ mm} \sim 1000 \text{ mm}$ まで変化させた状態を示しているが、回折光学素子 G_1 が石英、回折光学素子 G_2 が螢石の基板で構築されたものを示す。

【図5】本発明実施例における焦点距離の算出手段を説明する説明図である。

【図6】本発明の補正光学部材（回折光学素子）による焦点移動の状態を示す説明図である。

【図7】本発明実施例の回折光学素子の概略構成を示す説明図であり、（a）は正のパワーのもの、（B）は負のパワーのものを示している。

【符号の説明】

G_1 : 正のパワーの回折光学素子

G_2 : 負のパワーの回折光学素子

$L_1 \sim L_{23}$: 投影光学系を構成するレンズ

f_1 : 正のパワーの回折光学素子の焦点距離

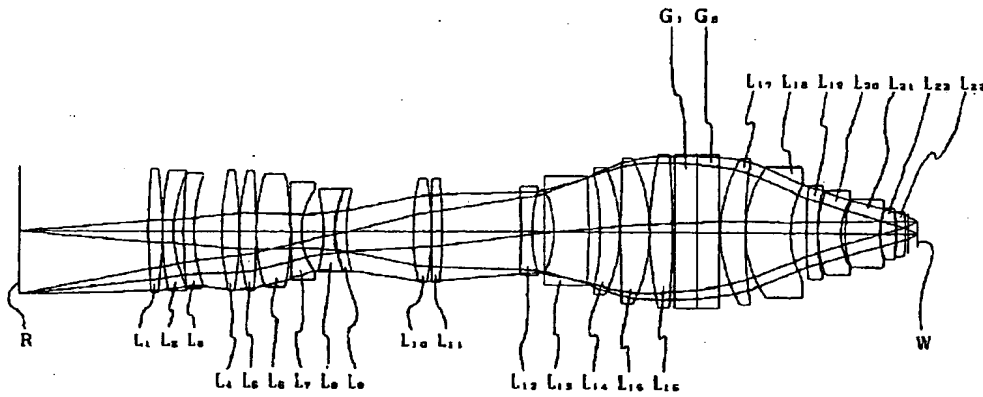
$-f_2$: 負のパワーの回折光学素子の焦点距離

d : 両回折光学素子の間隔

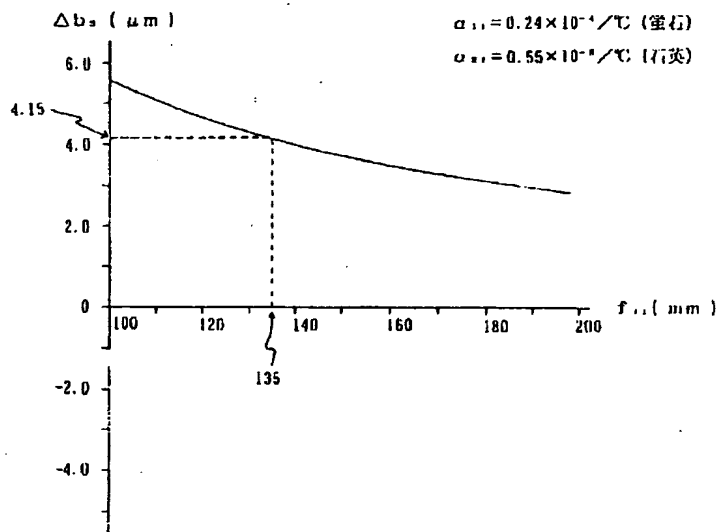
D : 負のパワーの回折光学素子から焦点位置までの距離

F : 両回折光学素子の合成焦点距離

【図1】

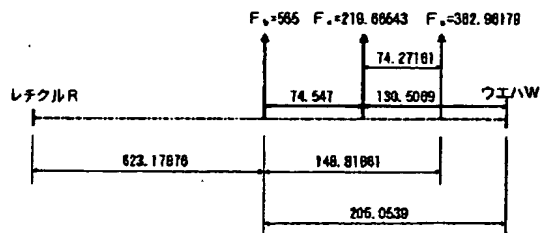


【図2】



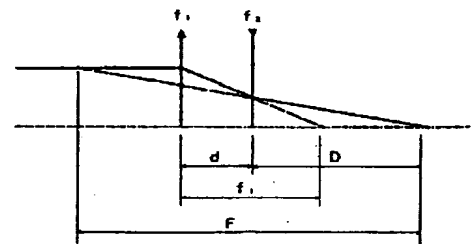
【図5】

F_0 : レチクルRから回折光学素子の直前までのレンズの合成焦点距離
 F_1 : 回折光学素子の合成焦点距離
 F_2 : 回折光学素子の直後からウエハWまでのレンズの合成焦点距離



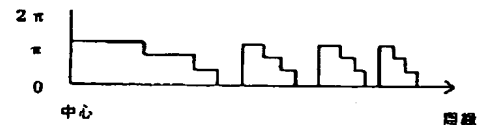
$a_0 = 771.99137$ (= 623.17876 + 148.81861) (単位: mm)
 $d_1 = -148.81861$
 $d_2 = 74.547$

【図6】

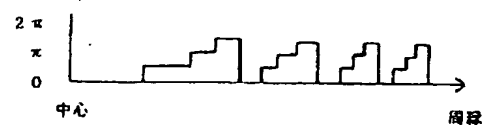


【図7】

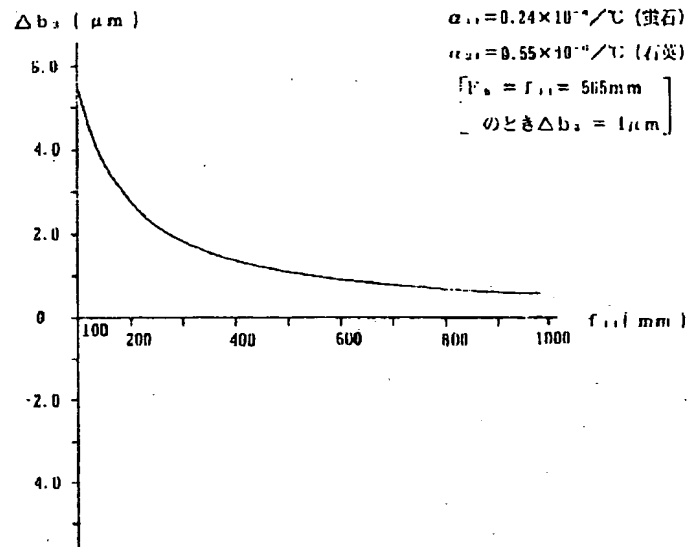
(a) 正のパワーのグレーディングの位相パターン図



(b) 負のパワーのグレーディングの位相パターン図



【図 3】



【図 4】

